

小波软阈值去噪在电压变换器选型中的应用

吴耀华

(陕西理工学院电气工程系, 陕西 汉中 723003)

摘要: 针对电压变换器选型中存在的问题, 采用基于小波软阈值的去噪理论对电压变换器的实测数据进行了拟合和去噪, 从而提高了变换器线性度、拟合精度并减小了残差。实际应用系统实验结果和分析表明, 对价格低廉、线性度不高的电压变换器, 选用去噪后的拟合方程来反映其电压变换关系完全满足实际系统控制与保护要求, 大大降低了装置的成本, 提高了应用系统的性能价格比。

关键词: 电压检测; 小波去噪; 残差; 电压变换器

Application of wavelet soft-threshold denoising in voltage converter selection

WU Yao-hua

(Department of Electrical Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723003, China)

Abstract: According to the problem on selection of voltage converter, the paper adopts the denoising method of wavelet soft-threshold fitting and denosing the measured data of the voltage converter, to improve the linearity of voltage convertor and fitting precision and minimize residual error. Experimental result to practical application system shows that by adopting the denoised fitting equation to reflect voltage transformation relation can meet fully the physical system and protection requirement to voltage converter whose price and linearity is low, also can depress the cost of device and the performance-price ratio of application system.

Key words: voltage detection; wavelet denoising; residual error; voltage converter

中图分类号: TP216 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)04-0042-03

0 引言

在电力设备的测控系统中常需从被控设备上取得电压信息, 但这些信息的数值、输入范围对典型的微机电路却不适用, 故需要降低和变换。通常根据模数转换器输入范围的要求, 将输入信号变换为 $\pm 10\text{V}$ 范围内的电压信号, 采用电压变换器实现交流电压信号的变换^[1]。

电压信息是反映电力设备运行状态的基本参数之一, 对其进行准确的检测是保证控制系统性能的前提。在电压变换器的选型、特性分析及数据处理上常存在以下问题:

(1) 高性能、高精度的电压变换器意味着硬件成本的增加, 一般应用在对精度要求较高的测控系统中(如电能计量)。而对于廉价的微机控制系统, 特别是多路控制情况下, 选用高精度的电压变换器将会导致系统的性能价格比较低。

(2) 大多数电压变换器是基于工频正弦信号设计的, 当输入信号为工频正弦信号时, 能获得较

好的变换特性。但在某些情况下(如故障状态), 变换器的输入电压中可能含有高频分量、谐波、暂态分量等, 一般是运用模拟式或数字滤波器从变换器输出电压中提取相应分量进行控制^[2], 并未考虑变换器特性的影响。

基于此, 笔者在某单位的水泵控制与保护系统改造设计中, 结合该系统所用的14个电压变换器的选型、特性分析及数据处理过程和心得, 提出了利用小波软阈值去噪去改善电压变换器的线性度, 实践证明可以达到令人满意的效果。

1 小波阈值收缩法去噪原理

电压变换器的误差主要受铁芯材料、磁路结构、一、二次绕组的阻抗及二次负荷等因素的影响。对于不同制造工艺的变换器来讲, 这些因素对电压变换器精度的影响又是随机的, 可认为是叠加在变换器输出电压信号上的噪声。因此, 可利用小波变换在信号处理上的优越性, 对含噪信号进行降噪, 达到改善变换器性能的目的。

1.1 去噪原理

小波去噪的根本任务是在小波域将信号的小波变换与噪声的小波变换有效的分离。小波阈值收缩法在最小均方误差意义下可达到近似最优，并且可取得较好的视觉效果，因而得到了深入的研究和广泛的应用^[3]。小波阈值收缩法去噪的主要理论依据是：小波变换特别是正交小波变换具有很强的去数据相关性，它能够使信号能量在小波域集中在一些大的小波系数中，而噪声的能量却分布于整个小波域内，因此，经小波分解后，信号的小波系数幅值要大于噪声的系数幅值，可以认为，幅值比较大的小波系数一般以信号为主，而幅值比较小的系数在很大程度上是噪声。于是，采用阈值的方法可以把信号系数保留，而使大部分噪声系数减少至零。小波阈值收缩法去噪的具体处理过程为：将含噪信号在各尺度上进行小波分解，保留大尺度低分辨率下的全部小波系数；对于各尺度高分辨率下的小波系数，可以设定一个阈值，幅值低于该阈值的小波系数置为0，高于该阈值的小波系数或者完全保留，或者作相应的“收缩”(shrinkage)处理。最后将处理后获得的小波系数利用逆小波变换进行重构，恢复出有效的信号。阈值的选取采用最常用的 VisuShrink 方法，这种方法采用全局统一阈值 $\sigma\sqrt{2\log N}$ ，其中 σ 是噪声信号的标准差(度量噪声的强弱)， N 是信号强度。

1.2 算法描述

小波阈值收缩法去噪由以下三步组成：1) 计算含噪信号的正交小波变换。对于长度为 N 的含噪信号 X ，不妨设 $N = 2^J$ ，利用正交小波变换的快速算法获得低分辨率 L ($0 \leq L < J$) 下的尺度系数 $\{v_{L,k}, k = 1, \dots, 2^L\}$ ，及各分辨率下的小波系数 $\{w_{j,k} \mid j = L, L+1, \dots, J-1, k = 1, \dots, 2^j\}$ 后，其中尺度系数和小波系数共 N 个，在处理边界时，常采用周期延拓方法。2) 对小波系数进行非线性阈值处理。为保持信号的整体形状不变，保留所有的低频系数 $\{v_{L,k}, k = 1, \dots, 2^L\}$ 。取阈值 $\lambda = \sigma\sqrt{2\log N}$ ，对每个小波系数，采用软阈值方法进行处理。软阈值：

$$\tilde{w}_{j,k} = \begin{cases} w_{j,k} - \lambda, & w_{j,k} \geq \lambda \\ 0, & |w_{j,k}| < \lambda \\ w_{j,k} + \lambda, & w_{j,k} \leq -\lambda \end{cases} \quad \text{即，将含噪信号的小}$$

波系数与所选定的阈值进行比较，大于阈值的点收缩为该点值与阈值的差值；小于阈值相反数的点收

缩为该点与阈值的和；幅值小于等于阈值的点变为零。3) 进行逆小波变换。由所有低频尺度系数，以及经由阈值处理后的小波系数做逆小波变换进行重构，得到恢复的原始信号的估计值。

2 电压变换器输出信号小波去噪的实现

2.1 电压变换器实测数据分析

设计中根据控制要求，初选了三种不同工艺的 220V/3.5V 电压变换器，其中变换器 1 (YB1) 和变换器 2 (YB2) 有提高精度的相应补偿措施，但 YB2 的铁芯材质不如 YB1，变换器 3 (YB3) 未采取补偿措施。在相同实验条件下，用 0.5 级电压表实测 YB1、YB2、YB3 输入/输出电压如表 1 所示，一、二次侧电压曲线如图 1、2、3 中虚线所示。

从图 1、2、3 可看出，YB1、YB2 的线性度较好，YB3 的线性度较差。对实测数据进一步分析表明：YB1 测量误差最小，YB3 测量误差最大，对于 YB3 如用变比乘以二次侧电压来推算一次侧电压将会产生较大的误差，必须寻求一、二次侧电压的定量关系。由 YB1、YB2、YB3 的实验数据，求得其残差分别为：

$$S_1 = 0.778 \quad S_2 = 1.256 \quad S_3 = 2.155$$

残差计算表明 YB1 的拟合精度较高，YB3 的拟合精度较低。

2.2 小波去噪在数据检测中的具体应用

小波函数采用 sym6，分阶层数取为 5 层^[4]，去噪后的 YB1、YB2、YB3 输出电压如表 1 所示，一、二次侧电压曲线如图 1、2、3 实线所示。

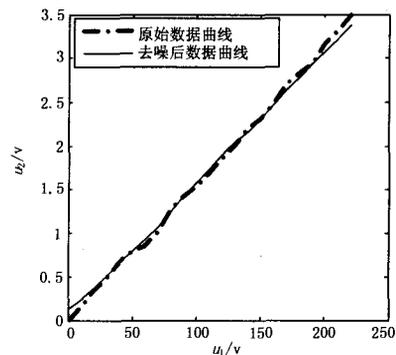


图1 YB1特性曲线

Fig.1 Characteristic curve of YB1

利用 YB1、YB2、YB3 去噪后的数据，求得其残差分别为：

$$S_1 = 0.549 \quad S_2 = 0.999 \quad S_3 = 1.301$$

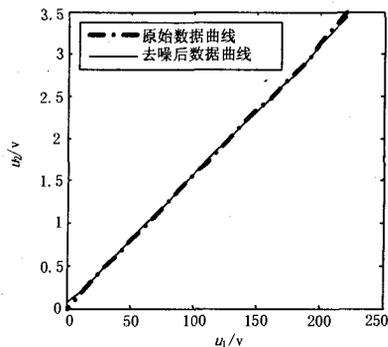


图2 YB2特性曲线

Fig.2 Characteristic curve of YB2

表1 变换器去噪前后数据

Tab.1 Denoised data and undenoised data of convertor

U_1	U_{12}	U_{22}	U_{32}	U_{12}'	U_{22}'	U_{32}'
220	3.498	3.491	3.493	3.462	3.445	3.367
210	3.321	3.324	3.307	3.285	3.279	3.214
200	3.157	3.151	3.164	3.134	3.120	3.073
190	2.978	2.943	2.937	2.979	2.944	2.933
180	2.837	2.791	2.828	2.815	2.768	2.777
170	2.668	2.637	2.697	2.665	2.626	2.635
160	2.516	2.477	2.481	2.506	2.474	2.473
150	2.355	2.358	2.315	2.343	2.331	2.298
140	2.198	2.188	2.192	2.192	2.186	2.157
130	2.051	2.032	2.011	2.050	2.037	2.050
120	1.866	1.859	1.861	1.889	1.889	1.908
110	1.726	1.719	1.706	1.738	1.738	1.737
100	1.593	1.587	1.549	1.583	1.583	1.579
90	1.432	1.429	1.422	1.430	1.424	1.423
80	1.271	1.264	1.279	1.274	1.267	1.253
70	1.098	1.092	1.013	1.118	1.112	1.071
60	0.953	0.937	0.858	0.962	0.956	0.920
50	0.806	0.799	0.803	0.805	0.798	0.801
40	0.637	0.631	0.669	0.646	0.640	0.660
30	0.483	0.479	0.471	0.485	0.481	0.501
20	0.328	0.324	0.341	0.331	0.329	0.361
10	0.167	0.159	0.151	0.186	0.184	0.230
0	0	0	0	0.052	0.067	0.126

注： U_1 为变压器一次侧输入电压（V）； U_{12} 、 U_{22} 、 U_{32} 为去噪前YB₁、YB₂、YB₃二次侧电压（V）； U_{12}' 、 U_{22}' 、 U_{32}' 为去噪后YB₁、YB₂、YB₃二次侧电压（V）。

可见，经过小波阈值处理后减小了残差，改善了变换器的线性度，提高了拟合精度，特别是YB3的线性度得到明显的改善，残差和测量误差也明显减小。

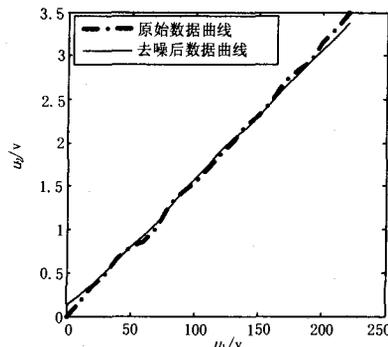


图3 YB3特性曲线

Fig.3 Characteristic curve of YB3

3 结论

本文针对目前电压变换器选型中存在的问题，提出了小波软阈值去噪处理电压变换器数据的方法，从而提高变换器线性度、拟合精度并减小残差。尽管从理论分析上，小波变换对原始波形的频谱特性和信号幅值有不同程度的影响，但在实际应用过程中，如果根据信号的具体特征选择合适的小波母函数和小波降噪模型，变换后的特性曲线不但光滑，可以成功地滤掉噪声，而且与实际波形基本相同，几乎没有失真^[5,6]。从实际应用系统实验结果和分析表明，选用YB3并用去噪后的拟合方程来反映其电压变换关系完全满足实际系统控制与保护要求，而YB1与YB3的价格相差了8倍左右，大大降低了装置的成本。

参考文献

- [1] 杨奇逊, 黄少锋. 微型机继电保护基础[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.4-17.
YANG Qi-xun, HUANG Shao-feng. Foundation of Microcomputer Protection [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.4-17.
- [2] 黄一夫. 微型计算机控制技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.66-69.
HUANG Yi-fu. Microcompute Control Technology [M]. Beijing: China Machine Press, 1990.66-69.
- [3] 程正兴. 小波分析算法与应用[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1998.204-217.

(下转第 50 页 continued on page 50)

- 报,2003, 23(9): 204-206, 211.
ZHANG Zhi-ming, CHENG Hui-tao.Niural Network Based Combining Prediction Model and Its Application in Condition Base Maintenance of Turbo-Generator Det[J].Proceedings of the CSEE, 23(9): 204-206, 211.
- [6] 苏鹏声, 王欢.电力系统设备状态监测与故障诊断技术分析[J].电力系统自动化, 2003, 27(1): 61-65, 85.
SU Peng-sheng, WANG Huan.Status Surveillance and Fault Diganasis of Power System Equipment[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(1): 61-65, 85.
- [7] 李凡生, 陈庆吉, 决策树分类算法在发电设备状态检修中的应用研究[J].电网技术, 2003, 27(12): 67-70.
- LI Fan-sheng, CHEN Qing-ji.Application of Decision Tree Classification Algorithm in Condition Based Maintenance of Power Generation Equipments[J].Power System Technology, 2003, 27(12): 67-70.

收稿日期: 2007-05-08; 修回日期: 2007-09-03

作者简介:

黄书荣(1979-), 男, 硕士研究生, 助理工程师, 主要从事电力系统可靠性的研究; E-mail:woaigannan@126.com

林晓波(1982-), 男, 助理工程师, 主要从事电力系统可靠性方面的研究;

余磊(1982-), 男, 助理工程师, 主要从事电力系统可靠性方面的研究。

(上接第 44 页 continued from page 44)

- CHENG Zheng-xing. Algorithms of Wavelet Analysis and Application[M].Xi'an:Xi'an Jiaotong University Press, 1998.204-217.
- [4] 董长虹, 高志, 余啸海.Matlab小波分析工具箱原理与应用[M].北京:国防工业出版社, 2004.108-116.
DONG Chang-hong,GAO Zhi,YU Xiao-hai. Principle of Matlab Wavelet Analysis Toolbox and Its Application[M]. Beijing:National Defense Industry Press,2004. 108-116.
- [5] 傅晨钊,汲胜昌,李彦明,等.软门限小波去噪在变压器冲击试验中的应用研究[J]中国电机工程学报,2001,21(7): 103-106.
FU Chen-zhao ,JI Sheng-chang,LI Yan-ming,et al.Application of Soft-thresholding Wavelet Denoising Method in the Diagnosis of Transformer During Impulse Test[J]. Proceedings of the CSEE ,2001, 21(7):103-106.
- [6] 白峰,肖登明,邱毓昌.小波变换在冲击电压测试技术中的应用[J].高电压技术,2001,27(1):13-15.
BAI Feng ,XIAO Deng-ming,QIU Yu-chang.Application of Wavelet Transform to Impulse Voltage Measuring Technique[J]. High Voltage Engineering,2001, 27(1):13-15.

收稿日期: 2007-08-13; 修回日期: 2007-09-24

作者简介:

吴耀华(1970-), 男, 讲师, 主要从事电力系统自动化的教学与研究。E-mail: wyh966@snu.edu.cn

(上接第 46 页 continued from page 46)

6 结论

考虑到调度自动化和数据系统的总体经济效益, 通信系统的投资不应过大, 力争充分利用现有的数据资源, 进行 DCS 系统与调度自动化系统整体规划, 避免重复建设投资。规划设计中在保证信息安全的基础上, 尽量减少结构流程和检修维护量, 为电厂的减人增效打下良好的基础。

参考文献

- [1] 徐丙垠. 自动化远方终端技术[J]. 电力系统自动化, 1999, 19(5).
XU Bing-yin.The Terminal Technique of the Automation Far-away Place[J].Automation of Electric Power Systems , 1999, 19(5).
- [2] 肖康. 建立和完善企业 IP 网络安全体系[J].计算机世界, 2000.
- XIAO Kang.Establishment with Perfect Business Enterprise IP Network Safe System[J]. Calculator World, 2000.
- [3] DL/T 719-2000 远动设备及系统, DL/T 743-2001 电能远方终端[S].
DL/T 719-2000 Far Move Equipments and System, DL/T 743-2001 Electric Power Quantity Far-away Place Terminals[S].

收稿日期: 2007-07-30; 修回日期: 2007-08-20

作者简介:

丁世勇(1974-), 男, 大本, 工程师, 研究方向为调度自动化; E-mail:E-mail:sgdingshy@126.com

崔丽娟(1978-), 女, 大专, 助理工程师, 研究方向为调度自动化;

刘继安(1973-), 男, 工程师, 从事继电保护通信自动化工作。